

III-A 89

ある埋立地盤の液状化強度－神戸新港埠頭－

竹中技術研究所 正会員 畑中宗憲 内田明彦
 (株)東京ソイルリサーチ 正会員 ○川端和行

1. まえがき

1995年1月17日の兵庫県南部地震において、ポートアイランドと六甲アイランドの2つの人工島のほか、阪神地区の海岸地帯の埋立地の広い範囲においても、液状化現象が観察された(図1、楡井、1995)。本報告は、地震の約6ヶ月後、神戸市新港のある埠頭近傍の埋立地(図1参照)において、原位置地盤凍結法により採取した不攪乱砂質試料についての液状化試験結果について述べたものである。

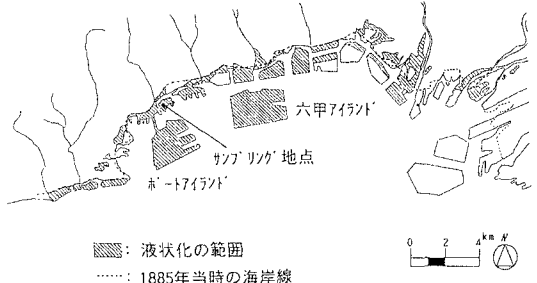


図1 兵庫県南部地震における液状化発生地域分布(楡井、1995)と試料採取地点

2. 試料採取地点の地盤特性

図2は試料採取地点の土層構成、標準貫入試験のN値、及び試験試料の深度を示している。当該地盤は大正8～9年にかけて、武庫川や加古川の河床堆積土を用いて埋め立てられたとされている。埋土層の厚さは約6mで、その下に旧海底面に相当するシルト質粘土層がある。地下水位は深さ1.5m、表層の埋立砂層のN値は5前後である。なお、試料採取地点では、兵庫県南部地震の際、地表面で最大で525galの水平加速度が記録されている²⁾。

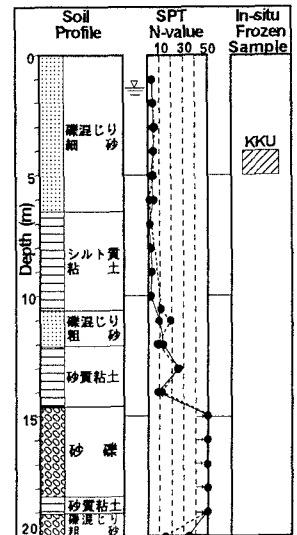


図2 試料採取地点の地盤性状

3. 試験試料と試験方法

試験試料は原位置地盤凍結法により採取した。サンプリング法の詳細は文献3)を参照されたい。液状化試験は深さ4～5mの試料を用いた。試験は直径15cm、高さ30cmの供試体を用いた非排水繰返し三軸試験。凍結試料を三軸セルにセットした後、0.2kgf/cm²の拘束圧のもとで飽和させ、間隙水圧係数が0.95以上あることを確認して、所定の拘束圧で圧密し、非排水状態で一定振幅の繰返しせん断応力を0.1Hzで加えた。試験試料の粒径加積曲線を図3に示す。また、試験試料の物理特性を表1に示した。図3に示すように、試験試料は細粒分がほとんどなく、最大粒径は30mm程度であり、ポートアイランドの埋立マサ土⁶⁾(図3中に表示)に比べると粒径はかなり小さいが、東京湾周辺の埋立地盤の粒度特性⁴⁾に比べると若干大きいと言える。また、図中に示すように、試験試料の粒度は港湾基準で示されている範囲⁵⁾に入っている。一方、供試体の乾燥密度は1.59～1.65g/cm³の範囲にあり、相対密度(D_r)は約78～82%で、N値が5程度しかないことを考えると比較的大きいと言える。

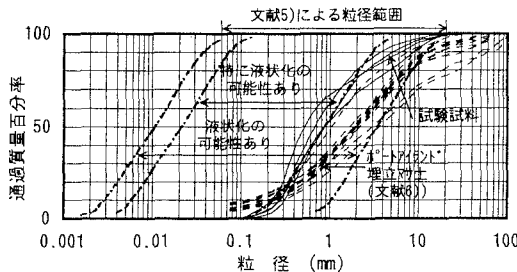


図3 試験試料の粒度特性

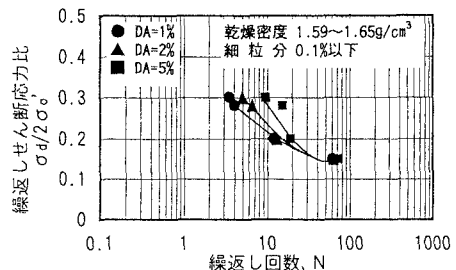


図4 不攪乱試料の液状化試験結果

表1 試験試料の物理特性

試料名	概粒度 GL-m	ρ_s g/cm ³	D ₁₀ mm	D ₅₀ mm	D _{max} mm	F _c %	U _c	G _c %	ρ_{dmax} g/cm ³	ρ_{dmin} g/cm ³	ρ_a g/cm ³	e	D _r %	G _c : 礫分含有率		
														N-value	σ'_v kPa	N ₁ - value
KKU	4-5	2.61	0.23 -0.30	0.54 -0.89	26.5 -37.5	0.0 -0.1	3.0 -5.0	19.7 -32.3	1.63 -1.69	1.40 -1.49	1.59 -1.65	0.58 -0.64	77.5 -82.0	5	58.8	6.5

4. 試験結果と考察

図4は液状化試験結果である。15回の繰返しせん断で軸ひずみ両振幅5%に達する応力比は0.25であり、神戸ポートアイランドの埋立マサ土の液状化強度(0.15~0.23)より若干大きい(文献6)参照)。また、この結果を吉見らが不攪乱砂について求めた液状化強度と標準貫入試験のN値を拘束圧で正規化したN₁値の関係⁷⁾にプロットしたのが図5である。図中には埋立マサ土の結果⁶⁾も示している。神戸新港埋立砂の液状化強度は不攪乱砂や埋立マサ土よりもやや大きくなっている。

試料採取地点から数m離れた地震計設置小屋が、地震後の調査で少し不等沈下していることがわかっていて、図6は図4に示す各供試体の液状化実験における最大せん断ひずみと液状化後の供試体の圧密による体積ひずみについての関係を示したものである。黒印は最初の液状化実験、白印は2度目の液状化実験結果である。図中には石原らが砂について提案した最大せん断ひずみと体積ひずみの関係も示してある⁸⁾。本実験結果は石原らの砂についてのD_r=80%の結果とほぼ対応しており、地震時の γ_{max} を5~7%と仮定すると、 ϵ_v は1.5%と推定され、液状化層の厚さを地下水位以深の埋立砂層の約4mとすると、沈下量は6cm程度となる。

5. まとめ

以下に原位置地盤凍結法を用いて、神戸新港の埋立地より採取した不攪乱砂試料の液状化実験およびその考察の結果をまとめた。

- ①試験試料は細粒分が0.1%以下で、礫分を20~30%含み、いわゆる粗砂であり、その粒度特性は既往の液状化簡易判定法に示す「液状化検討対象土」の粒度範囲にある。
- ②試験試料の相対密度は78~82%で標準貫入試験のN値が5程度しかないことを考えると比較的大きい。
- ③試験試料の液状化強度(15回の繰返しせん断で軸ひずみ両振幅5%に達する繰返しせん断応力比)は0.25であり、神戸ポートアイランドの埋立マサ土のそれ(0.15~0.23)より若干大きい。また、その値は吉見らが不攪乱砂について求めた結果よりやや大きくなっている。
- ④液状化試験終了時の最大せん断ひずみと液状化後の体積ひずみの間には良い関係が見られ、その結果は石原・吉嶺が砂について示したD_r=80%の結果とほぼ一致している。また、この関係から不攪乱砂採取地点の地震による沈下量を推定すると約6cm程度となる。

【参考文献】1)楡井久(1995):「1995年兵庫県南部地震の液状化被害」,「阪神大震災」緊急合同報告会資料集, pp.109-116. 2)港研資料(1996) 3)Hatanaka,M., Suzuki,Y.,Kawasaki,T.and Endo,M.(1988):"Cyclic undrained shear properties of high quality undisturbed Tokyo gravel," Soils and Foundations,Vol.28,No.4, pp.57-68. 4)原田光男、浦沢義彦、白井伸一(1990):「細粒分を含む砂によって造成された地盤の液状化強度(塑性指数と液状化強度の関係)」,土と基礎, Vol.38, No.6, pp.21-26. 5)日本港湾協会(1971)「港湾構造設計の補遺」6)畑中宗憲、内田明彦(1996):「ある埋立マサ土の液状化強度-神戸ポートアイランド-」,第31回地盤工学研究発表会(投稿中) 7)Yoshimi,Y., Tokimatsu,K. and Hosaka,Y. (1989): "Evaluation of liquefaction resistance of clean sands based on high-quality undisturbed samples," S&F, Vol.29, No.1, pp.93-104. 8)石原・吉嶺(1991):「地震時の地盤の液状化に伴う地盤の沈下量予測」,第26回土質工学研究発表会, pp.767-770.

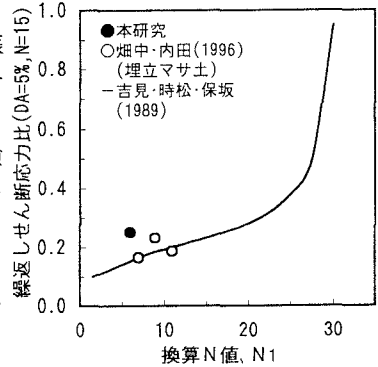


図5 試験試料と不攪乱砂の液状化強度の比較

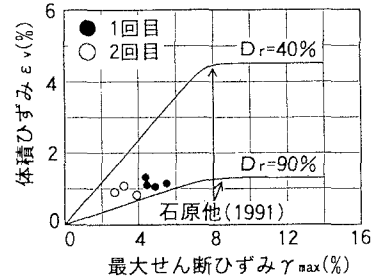


図6 最大せん断ひずみと体積ひずみの関係